肉类营养与人体健康研究的战略思考

李春保[1] 印遇龙[2] 周光宏[1*]

1 南京农业大学 教育部肉品加工与质量控制重点实验室，农业农村部肉品加工重点实验室，
江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心，食品科学技术学院 南京 210095

2 中国科学院亚热带农业生态研究所 畜牧健康养殖中心 长沙 410125

摘要 近30年，我国肉类加工业取得了快速发展，其产值达到1.3万亿元人民币，成为我国农产品加工和食品加工业的支柱产业，以及畜牧业供给侧改革的重要支撑点和突破点。随着经济社会的发展，肉类营养与人体健康得到越来越广泛的关注。文章在分析国内行业发展和国家战略的基础上，总结了发达国家的经验教训，剖析了我国2020—2035年肉类营养与人体健康研究的前沿科学技术问题，提出了我国肉类营养与人体健康领域的发展战略目标、战略思路、实施路径、战略内容、任务布局和保障措施。希望在国家战略层面上，围绕肉类营养与人体健康，加强生产、加工和消费环节的重大基础研究、重大技术攻关和重大产品开发，对于指导畜牧业，引领肉品加工业，推进健康食品产业可持续发展，保障国民健康等具有重要的战略意义。

关键词 肉类营养，人体健康，战略规划，政策建议

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2019.02.008

肉类是畜牧业生产的主要目标产品之一，肉及肉制品品质的优劣直接影响消费者的健康，同时也会影响上游畜牧业的发展。近年来，肉品加工业产值达到1.3万亿元人民币，成为我国农产品加工和食品加工业的支柱产业，不仅关系国计民生，也成为畜牧业供给侧改革的重要支撑点和突破点[1]。一方面，生产环节（如品种、饲料、养殖模式等）的差异导致肉品的食用品质和营养品质存在很大差异；另一方面，在肉品加工过程中，蛋白质、脂肪、维生素等营养元素会发生改变，同样会对肉品的食用品质和营养品质造成极大影响[2,3]。此外，由于消费者膳食结构不均衡带来的肥胖、糖尿病、胃肠道疾病等系列健康问题，已引起国际社会的广泛关注，其中肉类消费与人体健康关注度最高[4]。基于现代生物信息学技术的肉类营养与人体健康研究领域已成为指导畜牧业、引领肉品加工业、推进健康食品产业可持续发展的重要学科前沿。

*通讯作者

资助项目：国家自然科学基金重点项目（31530054）

修改稿收到日期：2019年1月31日

本文着眼于未来5—15年的发展，在分析国内外肉类营养与人体健康发展的基础上，阐述了2020—2035年肉类营养与人体健康研究的前沿科学技术问题，提出了2035年发展战略目标、实现路径和政策建议。

1 国内外现状

1.1 国内行业概况

经过近30年的发展，我国肉类加工业取得了举世瞩目的成绩。肉类产量连续20年世界第一，2017年肉类总产量达到8 431万吨。畜禽屠宰加工技术快速发展，实现了从“私屠乱宰”—“集中定点屠宰”—“规模化机械屠宰、冷链运输、分割上市”的转变；中式传统肉制品加工实现了“作坊、经验式生产”—“工厂化、机械化加工”的转型；西式低温肉制品、调理肉制品、菜肴类肉制品等新型产品快速发展。这些为我国人民生活水平由“温饱”向“小康”“富裕”的转变，以及人民体质的改善提供了重要物质基础[5]。

此外，在生产环节上，我国动物育种和动物营养学专家通过分子育种、品种改良、饲料调制等技术，改变动物肌内脂肪的沉积和脂肪酸（尤其ω-3系列不饱和脂肪酸）的组成，显著改善肉的风味品质和营养价值。

随着我国经济社会的快速发展，消费者对食品尤其是肉及肉制品的品质要求有了更多的期望，即从传统的保障供应转变为现在的安全美味和营养健康。但肉类生产、加工及消费环节还没有跟上消费者的需求变化。主要表现在3个方面：① 在生产环节，畜牧（肉类）生产的效率明显提升，肉类供应得到了保障，而肉品品质和营养价值提升力度和评价标准亟待加强；② 在加工环节，新技术的应用使产品的感官品质、食用品质、加工品质和安全品质得到了很大的提升，满足了消费者对色香味和安全的需求，而加工过程中营养品质的保持和改善尚需关注；③ 在消费终端，食物消费缺乏科学指导，消费者膳食结构不均衡问题日渐突出，高糖、高脂肪、高蛋白、低膳食纤维的膳食结构成为诱发慢性代谢类疾病的重要因素，制定基于食物结构与机体健康量效关系的膳食指南意义重大。

1.2 国家战略

2017年7月，国务院印发《国民营养计划（2017—2030年）》（以下简称《计划》），从我国国情出发，立足我国人群营养健康现状和需求，明确了今后一段时期内国民营养工作的指导思想、基本原则、实施策略和重大行动，标志着国民营养健康已成为了国家战略。《计划》提出6项重大行动提高人群营养健康水平：① 生命早期1 000天营养健康行动，提高孕产妇、婴幼儿的营养健康水平。② 学生营养改善行动，包括指导学生营养就餐，超重、肥胖干预等内容。③ 老年人群营养改善行动，采取多种措施满足老年人群营养改善需求，促进“健康老龄化”。④ 临床营养行动，加强患者营养诊断和治疗，提高患者营养状况。⑤ 贫困地区营养干预行动，采取干预、防控、指导等措施，切实改善贫困地区人群营养现状。⑥ 吃动平衡行动，推广健康生活方式，提高运动人群营养支持能力和效果。

当前我国慢性病患病率呈快速上升趋势，这也是《计划》出台的重要背景。据国家卫生健康委员会统计，2012年全国18岁及以上成人高血压患病率为25.2%，糖尿病患病率为9.7%，居民慢性病死亡率占总死亡人数的86.6%，心脑血管病、癌症和慢性呼吸系统疾病为主要死因。此外，全国血脂异常患者已达1.6亿人，高血压患者1.6亿人，超重和肥胖者2.6亿人。因此，系统开展膳食营养与人体健康研究，通过合理膳食来预防和控制慢性病的发生，进而落实《计划》迫在眉睫。

1.3 国外概况及经验教训

欧美发达国家人口中肥胖、糖尿病等慢性代谢类

疾病发病率极高。以美国为例，超重和肥胖人口占总人口的50%以上。造成这种现象的根本原因在于食物的过量摄入，美国年人均肉类摄入量140 kg、糖摄入量32.85 kg、植物油摄入量25 kg、动物脂肪摄入量4.5 kg，远高于世界平均水平。

欧美国家从20世纪60年代开始关注肉品营养与机体健康，开展了很多的流行病学研究。因猪油中含有较多的饱和脂肪酸，曾经被研究人员错误地认为猪油有害健康；而近年研究表明，猪油中含有较多中链的饱和脂肪酸，对健康有益，这才使得猪油得以正名[6]。同样，2015年世界卫生组织下属国际癌症研究机构在缺乏充足的实验依据时发布风险提示报告，将培根、火腿等加工肉制品列为致癌概率最高等级的一类致癌物，将牛肉、羊肉、猪肉等列为二类致癌物[7]。该报告引起了普通民众的极大关注，多国食品行业发声反击[8]。因此，加强肉品加工过程中的营养组分变化规律及其营养保持、食肉与人体健康的关系研究，对于指导生产、指导科学膳食、纠正错误舆论具有极其重要的战略意义。

2 肉品营养与健康领域前沿科学技术问题

（1）*肉品营养学基础问题。*① 不同来源的肉类中营养组分（如蛋白质、脂肪等）有何差异；肉类主要营养组分在消化道内的消化产物有哪些；消化产物能否被吸收，有哪些生理功能；在消化吸收过程中，这些组分如何影响肠道微生物以及宿主肠道健康；如何影响免疫系统、肝脏、神经系统、肌肉组织、脂肪组织等的发育和功能。② 肉品加工过程中，蛋白质、脂肪等营养组分的分子结构发生哪些变化；这些变化是否影响营养组分与消化酶的结合和消化作用，进而影响肠道吸收、肠道微生物组成及功能等；如何调控肠肝轴和肠脑轴的功能，调控机制是什么。③ 在肉类生产环节，不同品种、养殖条件下生产的肉类品质和营养如何评价；如何指导畜牧生产和肉品加工；如何构建大数据。

（2）*肉类膳食与人体健康的理论基础问题。*① 婴儿、青少年、孕妇、老年人等特殊群体与健康人群摄入肉类食物后，营养组分的消化吸收是否存在差异；肠道微生物、免疫系统、中枢神经、肝脏、脂肪、心血管系统等组织器官如何响应；膳食与生理过程的量效关系和时空效应如何；针对不同健康人群，肉类膳食有何建议。② 肥胖/糖尿病、肠道疾病、脂肪肝等高发重大疾病人群摄入肉类食物后，在分子、细胞和临床水平上病情如何发展，存在何种量效关系；针对特定疾病人群，肉类膳食有何建议。③ 健康和特定疾病人群摄入肉类食物后，食欲、情绪、生理等如何变化，其内在联系是什么。④ 针对不同人群，肉类食物与其他食物（如粮食谷物类、水果蔬菜类）按不同比例搭配摄入后，肉类营养组分的消化吸收等有何变化；肠道微生物、肝脏、神经系统、免疫系统等如何响应，以及存在什么样的量效关系。

（3）*基于营养保持的肉品加工技术问题。*① 从食品营养学的角度，传统的肉类加工方法对肉及肉制品的营养产生哪些影响；现有的技术装备条件通过参数优化能否实现肉品营养的保持或提升；有哪些新型热加工技术、腌制技术、乳化技术、包装保鲜技术等，可以更好地保持产品的营养。② 从营养均衡的角度，如何进行肉类食物与其他食物的均衡复配，满足不同人群的个性化要求。③ 根据肉类膳食与人体健康的量效关系，针对不同人群，如何建立膳食调控的方案，并利用食品科学、食品营养学、食品工艺学，结合细胞生物学、分子生物学、生物化学等相关交叉学科知识，开发适合特定人群的营养餐。

（4）*基于营养增强的肉类生产技术问题。*在畜牧生产环节，一方面，如何通过饲料调制等技术，改善肉中脂肪酸的组成，使ω-3和ω-6不饱和脂肪酸的比例更加合理；另一方面，如何通过现代生物技术，调节肉中蛋白质氨基酸组成，提升必需氨基酸的比例，

增加牛磺酸等具有生理活性物质的含量。

3 政策建议

3.1 发展战略目标

通过国内外合作，采用现代营养组学技术，开展肉品原料功能挖掘、肉品加工营养保持、膳食与健康评价等方面的科技创新部署，构建肉类膳食营养与人体健康的关系，为指导肉类科学加工、引导合理消费、开展精准营养设计提供重要理论支撑。

3.2 战略思路和实施路径

构建以食品营养为主线的“动物生产—肉品加工—膳食指导”全产业链协作，使肉类生产加工回归到以人为本的出发点，为动物新资源挖掘、品种改良等提供新的思路，为肉品加工新技术的创新提供新的策略，为个性化膳食和特膳食品开发提供理论支撑，引领人类健康产业的发展。

采取学科协同、国际协同、校院所协同、校企协同等交叉融合模式，组建一支顶尖的学术队伍，依托一批顶尖的学术科研平台，形成一批重大科研成果，引领肉类健康消费，提升国民健康，带动畜牧业和肉品加工业良性发展。

3.3 战略内容和任务布局

围绕如何生产和加工营养肉类食品，如何吃出健康等问题，布局研究任务（图1）。

（1）肉品原料营养特性挖掘。采用现代组学技术，挖掘特定品种和特定生产环境（无抗养殖、绿色或有机种养）条件下肉类的营养组分差异，探究不同生产来源的肉品品质差异的分子基础，构建肉品原料资源大数据，挖掘特定生产条件下的肉品营养标志物，指导肉类生产。

（2）肉品加工营养保持技术研究。研究肉及肉制品加工过程中，蛋白质、脂肪等营养组分的分子构象变化规律，探究不同分子构象状态下，食品营养组分与消化酶（蛋白酶、脂肪酶）之间的分子耦合动力学规律，进而评价加工引起的营养分子变化与其营养特性的动态关系，揭示加工中肉品营养组分变化规律，指导科学加工。研发基于营养保持的新型热加工技术、腌制技术、乳化技术、包装保鲜技术、盐替代技术等。

（3）膳食营养与健康评价。以不同肉及肉制品为对象，采用宏基因组学、代谢组学、脂质组学等方法，探究“膳食—肠道微生物—肝脏代谢—神经调控—表型”的分子机制，揭示膳食营养与不同人群生理指标和机体健康的量效关系，跟踪研究肥胖者、糖尿病患者等特殊人群的膳食结构与生理指标变化的关系，通过膳食干预，明确特定食品原料或膳食结构对特定慢性代谢病的改善作用及其机制。阐明膳食结构与人类健康的内在联系，指导健康饮食。

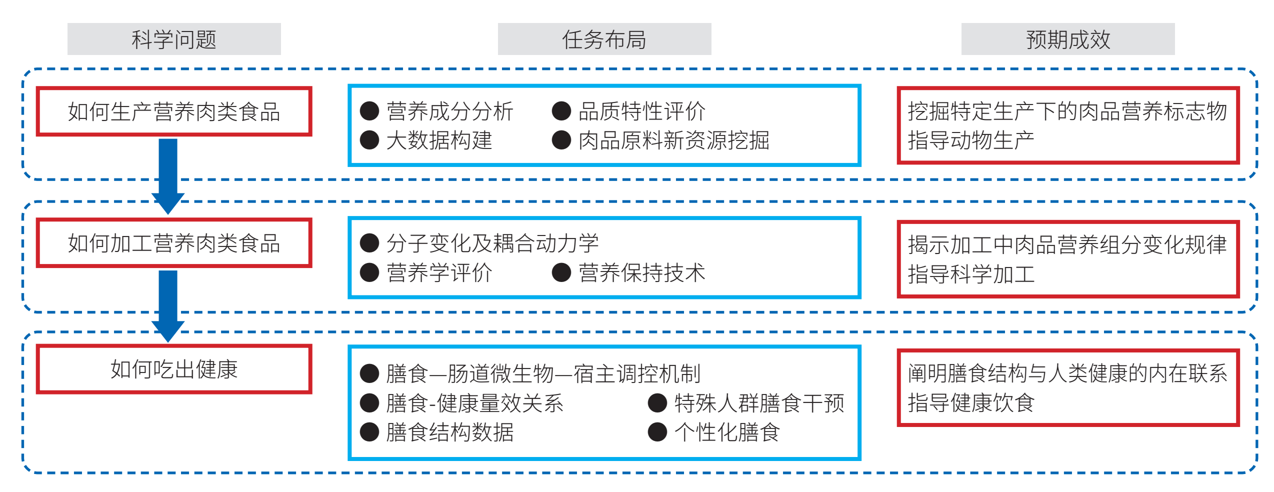


图1　肉类营养与人体健康研究战略路线图

（4）健康肉类食品开发。围绕不同人群的营养需求，开发以肉为主要原料的健康人群食品，满足婴儿、青少年、孕妇、老年人等特殊人群的营养需要，开发以补充特定营养素为目的的特膳食品，满足肥胖/糖尿病、肠道疾病、脂肪肝患者等特殊人群的营养需要。

3.4 保障措施

（1）完善组织管理。进一步深化科技管理体制改革，强化顶层设计，统筹科技资源。结合国家正在推进的大科学国际合作计划，主动作为，积极主动与国内外顶尖学术机构和科学家建立起紧密的合作关系，形成科研共同体，发挥主动权和话语权，抢占若干领域制高点。整合国务院科技管理相关部门的科技资源，整体布局，建立部门协调机制，形成高效的组织管理制度。健全决策咨询机制，发挥专家智库作用，形成适应科技体制与科技计划改革的管理机制。

（2）加强研究投入。发挥政府在政策制定中的引导作用，围绕产业链部署创新链，围绕创新链完善资金链，加大政府投入，用于基础研究；引导企业和社会资本投入技术研发和产品开发。建立合理的考核机制。加强对财政科技资金管理使用的审计监督，完善科研信用体系建设。

（3）加强动态管理。依托同行专家和第三方评估机构，建立战略规划、科技项目的动态监测和评估，及时掌握规划实施情况。通过动态评估和监测，结合行业发展的新需求和新变化，对战略规划指标和任务部署适时进行科学调整。

4 结语

肉类是畜牧业生产的重要产品，富含优质蛋白质等营养成分，在人类社会发展中发挥了极其重要的作用。随着经济和社会发展，肉类生产和消费都有了大幅提升，肉类营养与人体健康备受重视。在国家战略层面上，围绕肉类营养与人体健康，加强生产、加工和消费环节的重大基础研究、重大技术攻关和重大产品开发，对于指导畜牧业，引领肉品加工业，推进健康食品产业可持续发展，保障国民健康等，具有重要的战略意义。

参考文献

1 高延敏. 食品工业发展报告（2017年度）. 北京: 中国轻工业出版社, 2018: 17-27.

2 周光宏. 肉品学. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.

3 Li C, He J, Zhou G. Changes of meat proteins during processing and their impacts on meat quality. Science Foundation in China, 2018, 26(1): 84-91.

4 McAfee A J, McSorley E M, Cuskelly G J, et al. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. Meat Science, 2010, 84(1): 1-13.

5 周光宏, 武英, 郑乾坤, 等. 冷却猪肉质量安全控制技术与应用. 中国畜牧杂志, 2015, 51(14): 60-64.

6 Siri-Tarino P W, Sun Q, Hu F B, et al. Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. American Journal of Clinical Nutrition, 2010, 91: 535-548.

7 Bouvard V, Loomis D, Guyton K Z, et al. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. The Lancet Oncology, 2015, 16: 1599-1600.

8 李春保, 周光宏, 徐幸莲, 等. 对世界卫生组织将红肉和肉制品列为致癌物报告的质疑. 肉类研究, 2015, 29(12): 1-5.

Perspectives of Meat Nutrition and Human Health

LI Chunbao[1] YIN Yulong[2] ZHOU Guanghong[1*]

（1 MOE Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control; MARA Key Laboratory of Meat Processing; Jiangsu Collaborative Innovative Center of Meat Production, Processing, and Quality and Safety Control, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Center of Healthy Animal Husbandry, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China）

Abstract In recent 30 years, China's meat industry has developed very fast and its productive value amounts to 1300 billion RMB. It is a pillar industry for agricultural products process and food processing, and a critical support point and breakthrough point for the reform of the supply side of animal husbandry as well. As economic and social development, meat nutrition and human health have been paid more and more attention. In this paper, China's meat industry and relevant national strategies were reviewed, and events that happened in developed countries were summarized. Several key scientific and technological questions were put forward on meat nutrition and human health during the period from 2020 to 2035. A new strategy including targets, roads, tasks, and measures, is proposed to start key basic research, key technology development, and key product design on meat nutrition and human health, which attaches the importance to leading the development of animal husbandry, meat industry, and healthy food industry, and to improve Chinese people health status.

Keywords meat nutrition, human health, strategy plan, policy proposal



李春保 南京农业大学教授，博士。2006 年获得南京农业大学博士学位，2009 年 9 月—2011 年 2 月在瑞典农业大学从事博士后研究，2011 年入选教育部新世纪人才计划，2018 年入选科技部中青年科技创新领军人才计划。主要研究领域为肉品营养基因组学、肉品加工与质量控制，先后承担国家自然科学基金重点项目、重点研发计划课题等国家和部省级课题10余项，合作发表 SCI 论文 80 余篇，申请专利 20 余项（含国际专利 4 项），获得授权中国发明专利 12 项，获国家科技进步奖二等奖和教育部科技进步奖一等奖各 1 项（均排名第5）。兼任 *Asian Australasian Journal of Animal Sciences* 副主编。E-mail: chunbao.li@njau.edu.cn

LI Chunbao Professor, Nanjing Agricultural University, He got his Ph.D. degree in 2006 at the same university. He had a postdoc experience at Swedish University of Agricultural Sciences from September 2009 to Feburary 2011. Li was nominated "New Century Talent (MOE)" in 2011 and "Young and Middle-aged Science and Technology Innovation Leading Talents (MOST)" in 2018. Dr. Li's main research interests cover meat nutrigenomics, meat processing, and quality control. He has undertaken more than 10 national and local projects, including key program of NSFC. He published more than 80 peer-reviewed SCI indexed papers, and applied for over 20 patents, of which 4 were international patents and 12 invention patents were authorized. He achieved one National Science and Technology Advancement Award (rank 5) and one MOE Science and Technology Progress Award (rank 5). Dr. Li is also an Associate Editor-in-Chief of *Asian Australalasian Journal of Animal Sciences*. E-mail: chunbao.li@njau.edu.cn

*Corresponding author

周光宏　南京农业大学校长、教授，博士。长期从事肉品加工与质量控制方面的教学与研究。主持完成“冷却肉品质控制关键技术及装备创新与应用”获得国家科技进步奖二等奖、“传统肉制品品质形成机理及现代化生产研究与示范”和“低温肉制品质量控制关键技术及装备研制与产业化应用”分获2006年和2018年教育部科技进步奖一等奖，主编《畜产品加工学》《肉品学》《肉品加工学》等专著和教材，主持制定多项国际和国家肉品标准，发表论文200余篇（SCI收录100多篇），培养博士40余名。兼任国家肉品质量安全控制工程技术研究中心主任和首席科学家，中国畜产品加工研究会会长，中国农学会副会长，中国食品科学技术学会副理事长，国际标准化组织（ISO）“肉禽鱼蛋及其制品委员会”主席，全球农业与生命科学高等教育协会联盟（GCHERA）副主席。2018年当选美国食品工程院院士（IFT Fellow）和国际食品科学院院士（IAFoST Fellow）。E-mail: ghzhou@njau.edu.cn

ZHOU Guanghong　Distinguished Professor and President of Nanjing Agricultural University. He is prominent international scholar in food science and technology, and is broadly recognized for his original work to elucidate the biochemical mechanisms behind the texture quality of muscle foods and flavor formation in traditional Chinese meat products. He has successfully conducted several national research programs regarding to quality and safety control on chilled fresh meat and Chinese traditional food products. The outcome of his research has made exemplary contributions to China's meat industry. In addition, he led the drafting of three UNECE international meat standards, as well as dozens of national or industrial food standards in China. He hs published over 200 papers, of which more than 100 are indexed by SCI. He was appointed as ISO chairperson for meat, poultry, fish, eggs and their products in 2017, and elected IFT Fellow and IAFoST Fellow in 2018. E-mail: ghzhou@njau.edu.cn

■责任编辑：张帆

参考文献（双语版）

1 高延敏. 食品工业发展报告（2017年度）. 北京: 中国轻工业出版社, 2018: 17-27.

Gao Y M. China Food Industry (2017). Beijing: China Light Industry Press, 2018: 17-27. (in Chinese)

2 周光宏. 肉品学. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.

Zhou G H. Meat Science and Technology. China Agricultural Science and Technology Press, 1999. (in Chinese)

3 Li C, He J, Zhou G. Changes of meat proteins during processing and their impacts on meat quality. Science Foundation in China, 2018, 26(1): 84-91.

4 McAfee A J, McSorley E M, Cuskelly G J, et al. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. Meat Science, 2010, 84(1): 1-13.

5 周光宏, 武英, 郑乾坤, 等. 冷却猪肉质量安全控制技术与应用. 中国畜牧杂志, 2015, 51(14): 54-58.

Zhou G H, Wu Y, Zheng Q K, et al. Technologies for quality control of chilled pork. Chinese Journal of Animal Science, 2015, 51(14): 60-64. (in Chinese)

6 Siri-Tarino P W, Sun Q, Hu F B, et al. Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. The American Journal of Clinical Nutrition, 2010, 91(3): 535-546.

7 Bouvard V, Loomis D, Guyton K Z, et al. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. The Lancet Oncology, 2015, 16(16): 1599-1600.

8 李春保, 周光宏, 徐幸莲, 等. 对世界卫生组织将红肉和肉制品列为致癌物报告的质疑. 肉类研究, 2015, 29(12): 1-5.

Li C B, Zhou G H, Xu X L, et al. A doubt on the World Health Organization’s report linking red and processed meat to cancer. Meat Research, 2015, 29(12): 1-5. (in Chinese)